



Příjemci podpory:

Poskytovatel:

Projekt s názvem: **Centrum pro podporu obyvatelstva pro případ skutečného nebo domnělého vzniku mimořádných jaderných a
radiačních událostí**

s identifikačním kódem: **VJ01010116:**

Název předkládaného výsledku:

**Funkční vzorek : Detektor pro občanská screeningová měření potravin a
zemědělských plodin**

Typ výsledku dle UV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
(G funk) Funkční vzorek	9/2024	2024
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno
-	bude vyvěšena na: https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/	Po odsouhlasení aplikačním garantem SÚJB

Anotace k výsledku:

Byl vyvinut funkční vzorek detektoru pro občanská screeningová měření potravin (ev. zemědělských plodin) na bázi GM detektoru s procesorem, prostřednictvím měření počtu impulsů za časový interval (nebo dávkového příkonu), jde tedy o další modifikaci přístroje označovaného CzechRad. Je určen pro měření zejména neprofesionálními týmy (občané, obce, zemědělci, dobrovolní hasiči) a navazuje na předchozí výzkum SURO. Uvedenou praxi, tj. občanská screeningová měření potravin, předpokládají i některá mezinárodní a národní doporučení [IAEA 2017], [SSK 2015], [TMT Handbook] pro rozsáhlé havarijní monitorování a třídění.

Manažer: Jaroslava Merunková

Řešitelský tým:

Jiří Hůlka, Petr Rulík, Marek Helebrant, Jan Helebrant,
(Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., Praha), Ivan Štekl (ÚTEF ČVÚT)

Obsah:

	Str.
1. Úvod	3
2. Oblast techniky a její stav	3
3. Popis funkčního vzorku	6
4. Použití přístroje pro měření	8
5. Citlivost měření – obecný rozbor	9
6. Výběr vhodných geometrií	10
7. Kalibrační faktory a jejich stanovení	11
8. Detekční limit pro stanovení aktivity Cs-137 v potravinách	12
9. Vlastní výpočet aktivity	15
10. Literatura	16
Příloha : Jak interpretovat výsledky „občanských samo-měření potravin	16

1. Úvod

V rámci projektu byl vyvinut funkční vzorek detektoru pro občanská screeningová měření potravin (ev. zemědělských plodin) na bázi GM detektoru s procesorem, prostřednictvím měření počtu impulsů za časový interval (nebo dávkového příkonu), jde tedy o další modifikaci přístroje označovaného CzechRad. Je určen pro měření zejména neprofesionálními týmy (občané, obce, zemědělci, dobrovolní hasiči) a navazuje na předchozí výzkum SURO. Uvedenou praxi, tj. občanská screeningová měření potravin, předpokládají i některá mezinárodní a národní doporučení [IAEA 2017], [SSK 2015], [TMT Handbook] pro rozsáhlé havarijní monitorování a třídění. Vzhledem k tomu, že technika měření impulsů nebo dávkového příkonu nevyžaduje zvláštní odborné znalosti, může ji provádět i veřejnost.

2. Oblast techniky a její dosavadní stav a důvody pro použití a rozbor otázky smyslu občanských měření

Pro stanovení obsahu radionuklidů v potravinách (máme na mysli radionuklidy emitující detekovatelné gama záření) se používají standardně profesionální laboratorní metody na bázi spektrometrie gama, zejména polovodičové. Kapacita měření centrální laboratoře RMS je řádově 2 tisíce laboratorních vzorků za 24 hodin. Nicméně nelze vyloučit situace, kdy bude třeba přímo na místě (zemědělské podniky, apod) získat pilotní screening - informaci o míře kontaminace potravin/plodin. Pro toto nouzové monitorování (screening) je praktická/užitečná méně citlivá a přesná, ale snadno dostupná technika založená na měření dávkového příkonu nebo detekce impulsů.

Takovým přístupem se již SURO zabýval, s cílem využít jednoduchých přístrojů pro měření dávkového příkonu (např. DC 3E), s krátkou dobou měření jednoho vzorku (cca 30 s, aby byl postup efektivní). Jednalo se o výzkum vybraných geometrií měření, např. "stěna složená z klasických zeleninových přepravek" - složení na sebe a těsně vedle sebe, objem přepravky/vzorku 28 dm³ a celkové hmotnosti vzorku 14 kg, střední hustota volně ložených potravin v přepravce se předpokládala 0,5 g/cm³, měření s detektorem ve vzdálenosti 1 m před geometrickým středem čelní stěny z přepravek, nebo v kontaktu se středem stěny z přepravek apod. Dalším typem měření byla válcová geometrie o různém poloměru a výšce, např. dvoulitrová válcová nádoba (masťovka) s objemem vzorku 2 litry o hustotě 0,5 až 0,7 g/cm³ nebo s objemem 1 litr o hustotě 1 g/cm³, a detektor v kontaktu s pláštěm nádoby.

Hodnocení potenciálu občanských měření z hlediska schopnosti reakce na mimořádné události by mělo vzít v úvahu také následující :

Zájem veřejnosti o „měření radioaktivity“ se objevuje při mimořádných událostech týkajících se jaderné bezpečnosti jaderných elektráren [MAAE 2014]. Iniciativa veřejnosti v měření expozice lidí ionizujícímu záření zesílila po havárii JE Fukušima. Pokročilé sociální sítě, dostupnost a cenová dostupnost měřicích přístrojů a také neobsazenost v oblasti komunikace s veřejností vedly k zvýšenému zájmu veřejnosti a aktivistů o poskytování vlastních radiačních dat [Brown 2016]. Udržitelnost tohoto zájmu do značné míry závisí na úsilí občanské vědecké komunity. Měření by prováděla veřejnost ve svůj vlastní prospěch, ovšem způsobem se stěží kontrolovanou jakostí. Nelze vyloučit nesprávnou interpretaci výsledků.

Během jednotlivých fází reakce na havarijní expoziční situaci JE, jak jsou definovány mezinárodními orgány [ICRP 103], [IAEA 2015], lze však využít výhod následujících vlastností/aspektů/vlastností měření prováděných členy veřejnosti: prostřednictvím měření prováděných členy veřejnosti lze získat údaje o monitorování pro území, které není pokryto službou radiačního monitorování, údaje o ozáření získané „vlastním měřením“ jsou pro občany důvěryhodné, a mohou vést ke zmírnění obav lidí

Občanské detektory jsou ke screeningovým účelům použitelné – byť takováto měření vyžadují pečlivé dodržování pracovních postupů a podmínek měření, které se díky instalovanému software dá kontrolovat.

Přitom se ukázalo, že přístroj využívající GM detektor bGeigy nano požadavkům pro screening potravin a zemědělských plodin v principu vyhovuje. Proto po zkonstruování českého analogu CzechRad k mapování dávkového příkonu byl zahájen vývoj funkčního vzorku umožňujícího měřit aktivitu potravin/plodin s uzpůsobeným software. Velmi významnou výhodou přístroje CzechRad je, že hardware i software je plně v rukou SURO a software umožní nastavit optimalizovanou dobu měření (pozadí i čistého signálu) a přímý, jednoduchý a pro občany srozumitelně podaný výsledek. SURO již nabyl zkušenosti s aplikací pro měření občany (dávkový příkon v prostředí), který ukázal na stále rostoucí zájem o tuto problematiku ze strany občanů i různých zájmových uskupení

Podstatné poznatky a závěry pro vývoj českého monitoru CzechRad pro stanovení aktivity potravin lze shrnout takto: propracovaný CzechRad je robustní s GM detektorem ve formě „pancake“ s tenkým okénkem, cenově dostupný, spolehlivě funkční a s jednoduchou obsluhou, jeví se jako optimální, na základě několikaleté zkušenosti s ovládáním přístroje je vhodné technické prvky a software upravit tak, aby byl vhodný i pro použití neprofesionálními týmy (zemědělské a potravinářské podniky, občané, obce, dobrovolní hasiči apod.)

Otázka možností ne-spektrometrického odhadu aktivity ve vzorku (v případě směsi radionuklidů v různých časech po havárii)

Po radiační havárii jaderného reaktoru s únikem nejen vzácných plynů, ale i těžkých radionuklidů, musíme počítat s kontaminací prostředí celou řadou krátko i dlouhodobých radionuklidů, z nichž hlavní významné z radiační ochrany a kontaminace jsou uvedeny v tabulce 1 spolu s poločasy a dávkovým příkonem od jednotkové aktivity 1 kBq/kg, tj konverzní koeficient K (nGy/h)/(kBq/kg), který jednotlivý nuklid způsobí od vzorku ve středu nad přepravkou (v tomto případě jsme použili kontaminované plné přepravy o velikosti 28 dm³ s efektivní hustotou vzorku 0,5 [g/cm³])

Tabulka 1:

Nuklid	Poločas $T_{1/2}$ [d]	Konverzní koeficient K (nGy/h)/(kBq/kg)
⁹⁵ Nb	34,98	31
⁹⁵ Zr	64,02	30
¹⁰³ Ru	39,26	23
¹³¹ I	8,02	18
¹³² I	0,10	91
¹³² Te	3,20	22
¹³⁴ Cs	754	64
¹³⁷ Cs	10983	25
¹⁴⁰ La	1,68	85
¹⁴⁰ Ba	12,75	8,6

Z analýzy zdrojových členů po havárii jaderné elektrárny typu VVER je známo, že ve směsi radionuklidů na počátku havárie (nepočítáme-li vzácné plyny) dominuje směs izotopů jodu a teluru, které se však rychle rozpadají. První cca 2 týdny se proto na dávkovém příkonu dominantně podílí tato uvedená skupina a méně i některé další radionuklidy. Dávkový příkon se bude rychle měnit (klesat), odhadnout aktivity směsi radionuklidů je v této době bez spektrometrie prakticky nemožné a zejména pro laiky by to bylo zdrojem velkých chyb.

Docházíme proto k závěru, že použít detektoru impulzů/dávkového příkonu je rozumné až v té etapě po radiační havárii, kdy se již uvedené „krátkodobější nuklidy“ rozpadnou a bude dominovat Cs137 (ev.. Cs134). Tato situace nastane nejdříve cca po 14 dnech po ukončení řetězové štěpné reakce v reaktoru. Pro tuto situaci jsou provedena kalibrace a měření, ti. CzechRad bude kalibrován primárně na měření Cs137 (resp. v případné směsi s Cs134 je samostatně okomentováno v závěru).

3. Popis funkčního vzorku

Funkční vzorek využívá „hardware CzechRad“, který je doplněn o software ovládaný přidaným tlačítkem FN2 (obr.1) . Pro úplnost jsou shrnuty i základní technické parametry.

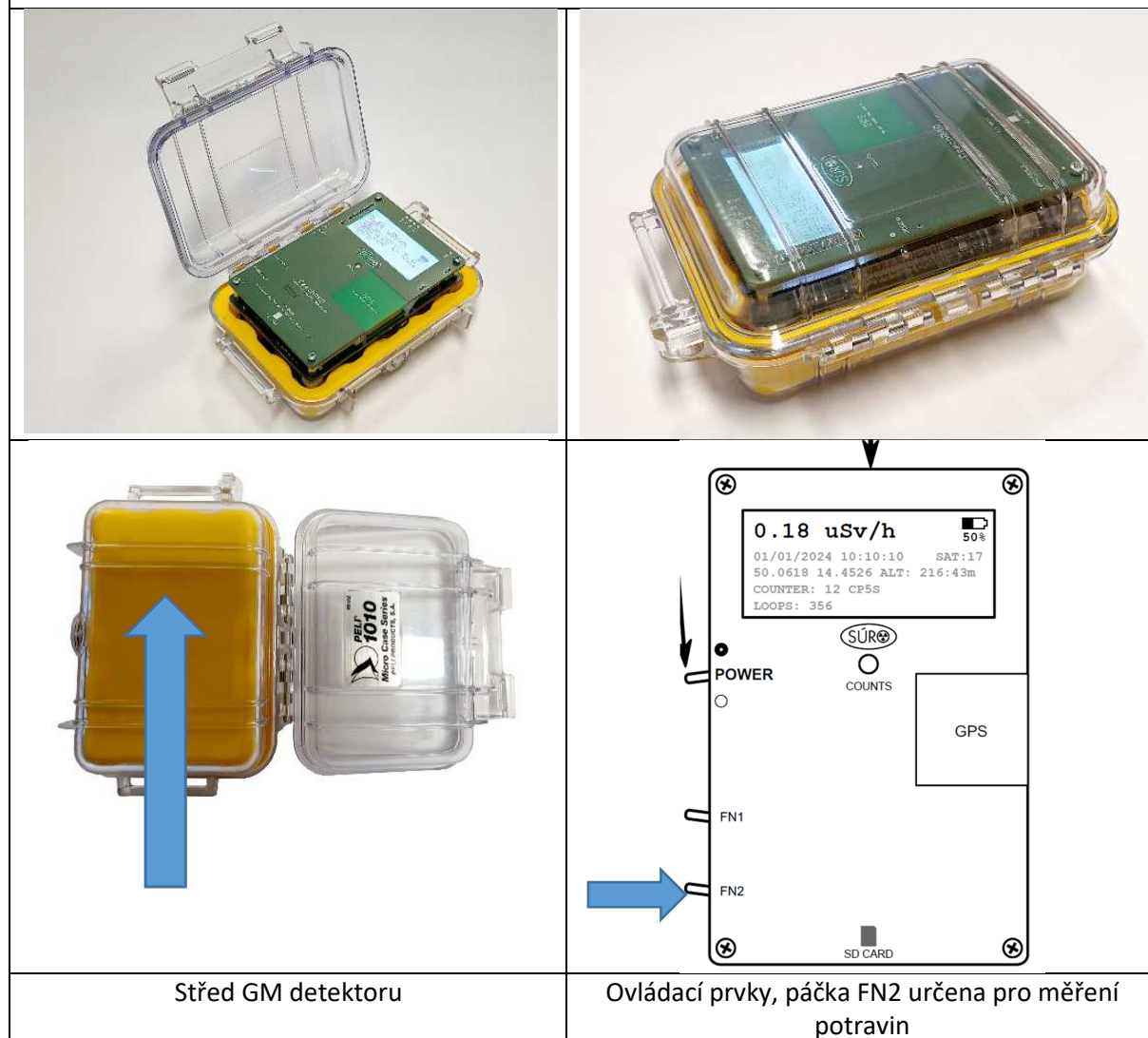
Základní technické údaje CzechRad shrnuje následující tabulka 1

Tabulka 2:

Detektor	GM trubice LND 7317 https://www.lndinc.com/products/geiger-mueller-tubes/7317/
Citlivost soustavy	5.8 cps/ μ Gy/h (tj cca 350 CPM/ μ Gy/h)
Čítač impulzů:	
Kapacita	4294967295 impulzů
VN zdroj	
• Polarita výstupního napětí	Kladná
• Rozsah napětí	500V ($\pm$ 1%)
• Výstupní proud	max. 1mA, omezeno na 152 μ A
Paměť dat	
• Kapacita	SD 2 GB (cca 1000 dní měření)
Komunikační rozhraní	USB (virtual COM), SD karta
Rychlost	115200 bps
Hodiny reálného času	NE (synchronizace z GPS)
Napájení	5 VDC; 500 mA (mini USB)
Baterie a spotřeba	vestavěná baterie Li-Ion 4,2 V; cca 120 mA (max 0,6 W) provoz na cca 20 hodin
Pouzdro	Micro Case 1010 výrobce PELI CASE
Rozměry	14.9 x 10.3 x 5.4 cm
Krytí	IP67
Hmotnost zařízení	501 g

Elektronická část je popsána u funkčního vzorku CzechRad pro měření a mapování dávkového příkonu. (poznámka úplná dokumentace je uložena elektronicky v SURO)

Obr.1 CzechRad : celkové a vybrané detailní pohledy na funkční vzorek



4. Použití přístroje pro měření v potravinách/plodinách apod

Podstata měření je v tom, že se přístroj přiloží blízko vzorku potravin/plodiny např. ve vzorkovnici, ideálně téměř v kontaktu (ovšem tak aby se nekontaminoval), viz obrázek 2.

Odezva přístroje při stejné měrné aktivitě radionuklidu ve vzorku závisí na rozměrech vzorku a vzdálenosti detektoru od vzorku, jak je ukázáno dále.



Obrázek 2: ukázky geometrie měření vzorků potravin s CzechRad (nádobu 1 l a umělohmotná přepravka 28 dm³)

5. Citlivost měření – obecný rozbor

Pro získání základní představy o tom, jakou roli hraje na odezvě detektoru velikost vzorku (průměr a tloušťka) v místě měření byly provedeny výpočty nad válcovou nádobou s homogenním vzorkem o hustotě 1 g/cm³ a jednotkové měrné aktivitě Cs-137. Výpočty byly provedeny pro proměnlivý poloměr a výšku nádoby a ke stanovení konverzního koeficientu mezi dávkovým příkonem a aktivitou (se zahrnutím příspěvku od rozptýleného záření) byl využit program MicroShield, Grove Engineering (USA). Výsledky jsou v tabulce 3 a grafu obr 3

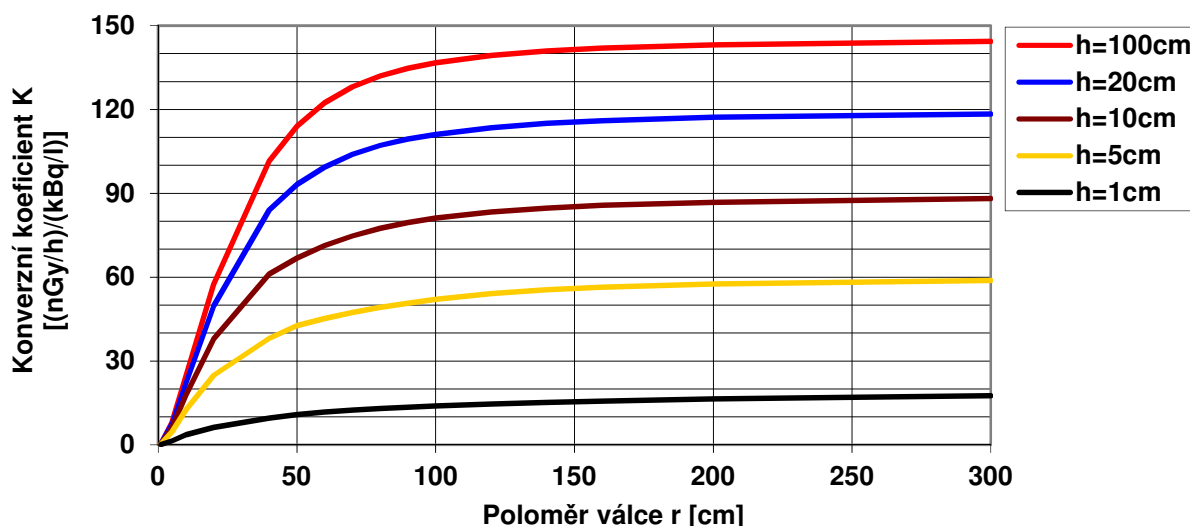
Tabulka 3: Vypočtené konverzní koeficienty K pro měřící bod nad válcovým vzorkem o poloměru r a výšce h v ose válce pro vzorek o hmotnostní aktivitě ¹³⁷Cs 1 kBq/l (ve vodě tj. pro hustotu 1 g/cm³)

Poloměr válce r [cm]	K [(nGy/h)/(kBq/kg)]				
	$h=1$ cm	$h=5$ cm	$h=10$ cm	$h=20$ cm	$h=100$ cm
1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
5	1,4	4,7	6,4	7,5	8,1
10	3,6	12,6	17,9	22,1	24,4
20	6,3	24,9	37,9	49,8	57,4
40	9,6	38,0	61,1	84,1	101,5
50	10,9	42,7	66,9	93,1	114,0
60	11,7	45,2	71,3	99,4	122,4
70	12,4	47,4	74,8	103,9	128,1
80	13,0	49,2	77,5	107,2	132,0
90	13,5	50,7	79,6	109,4	134,7
100	13,9	52,1	81,2	111,1	136,7
120	14,6	54,1	83,3	113,5	139,3
140	15,2	55,5	84,7	115,0	140,9
160	15,7	56,5	85,7	116,0	142,0
200	16,4	57,6	86,8	117,2	143,1
300	17,6	58,8	88,2	118,4	144,4

Poznámky

- 1 kBq/kg pro hustotu 1 g/cm³
- r – poloměr válce, h – výška válce

Obr. 3 Graf závislosti konverzních koeficientů (tj. mezi dávkovým příkonem a jednotkovou aktivitou ^{137}Cs 1 kBq/l deponované ve vodě ve vzorku) pro bod měření nad podstavou válce v ose válce vyplňující válec o poloměru r a výšce h



Z grafu je vidět, jak se odezva začíná postupně saturovat již od poloměru vzorku v rozmezí 50 -100 cm a více. Z hlediska výšky vzorku dochází k saturaci odezvy rychleji - již nad 20 cm (důvodem je zde samoabsorbce fotonů gama ve vzorku při vyšší výšce).

6. Výběr vhodných geometrií

Pro praktické použití je rozumné vybrat jen několik geometrií, se kterými se zájemci nejspíš setkají. Předpokládáme, že pro zemědělce/ potravináře je rozumně dostupná forma velkého vzorku umělohmotná přepravka 28 dm³. Výhodou je i to, že mřížka z umělé hmoty má malou samoabsorbci.

Přepravka může být měřena buď samostatně v přímém kontaktu (za cenu mírně nižší citlivosti), nebo ze z přepravek dá postavit i rozměrná stěna – v takovém případě se předpokládá měření ze vzdálenosti cca 1 m, aby došlo k průměrování hodnot ve stěně.

Dále byla vybrána geometrie válcové nádoby 1 litr, určená spíše pro občany, odpovídá kilogramovému vzorku potravin/plodiny. Citlivost detekce je ovšem malá.

7. Kalibrační faktory a jejich stanovení

Pro výpočet aktivity Cs137 v potravinách je třeba pro daný přístroj CzechRad a každou vybranou geometrii měření (typ vzorku a vzdálenost měření) stanovit kalibrační faktory CF tzn. vztáhnout aktivitu Cs 137 ve vzorku (kBq) na měřenou veličinu, kterou může být dávkový příkon ($\mu\text{Sv/h}$) nebo počet impulsů za zvolený interval (např. za minutu (CPM)).

V případě CzechRad není třeba vázat kalibraci na dávkový příkon, jak je to nutné u přístrojů, které nemají možnost výstupu v impulsech a jejich integraci. Díky vývoji vlastního software máme možnost měřit impulsy za libovolně definovaný čas.

Kalibrační faktor CF je proto stanoven takto :

$$\text{CF} = \frac{\text{čistý CPM (počet impulsů za minutu po odečtu pozadí)}}{\text{měrná aktivita Cs-137 ve vzorku (v kBq)}}$$

(Pro CzechRad byl pro pole gama odpovídající Cs137 změřen v kalibrační laboratoři SURO vztah mezi dávkovým příkonem a počtem impulsů za minutu (CPM) s tímto výsledkem : 350 CPM odpovídá $1 \mu\text{Gy/h}$).

Tabulka 4 : Kalibrační faktory CF pro Cs-137 a různé geometrie měření : pro stěny z přepravek (objem vzorku v přepravce 28 dm³) o velikosti stěny jednak 7×7 a jednak 9×9 přepravek stanovený ve vzdálenosti 1 m čela stěny s osou proti středu stěny, samostatnou přepravku a válcovou nádobu o objemu 1 litr.

Geometrie měření (a tvar vzorku)	Hustota vzorku [g/cm ³]	CF [CPM/(kBq/kg)]
Stěna z 7×7 přepravek v jedné vrstvě ($420 \times 140 \times 40\text{cm}$) – měřeno 1 m od stěny	1	13,7
Stěna z 7×7 přepravek v jedné vrstvě ($420 \times 140 \times 40\text{cm}$) – měřeno 1 m od stěny	0,5	10,9
Stěna z 9×9 přepravek v jedné vrstvě ($540 \times 180 \times 40\text{cm}$) - měřeno 1 m od stěny	1	18
Stěna z 9×9 přepravek v jedné vrstvě ($540 \times 180 \times 40\text{cm}$) - měřeno 1 m od stěny	0,5	15
Jedna přepravka 28 dm ³ měřena ve středu shora	0,5	8,8
Válcová nádoba 1 litr	1	2,8

Poznámka k hustotě: Vzorky kapalné a masa uvažujeme o hustotě 1 g/cm^3 , vzorky volně ložených komodit v přepravkách (ovoce, zelenina) uvažujte o hustotě $0,5 \text{ g/cm}^3$.

8. Detekční limit pro stanovení aktivity Cs-137 v potravinách

Limit detekce pochopitelně závisí na geometrii a také na úrovni radiačního pozadí. Pro výpočet detekčního limitu MVA i MDA lze použít Currieho přístup [Currie 1968]. Na základě těchto úvah lze pro práh detekce (minimální významná aktivita podle Currieho přístupu - MVA), a pro detekční limit (minimální detekovatelná aktivita – MDA), přičemž pravděpodobnost chyb typu I a typu II je menší než 0,05:

Pro detekční limit počtu impulsů četnosti platí:

$$MVI = 2.33 \times s_B \quad (\text{impulzů}) \quad (1)$$

$$MDI = 2.71 + 4.65 \times s_B \quad (\text{impulzů}) \quad (2)$$

kde s_B je směrodatná odchylka měření pozadí vyjádřená počtem impulsů v intervalu měření (prakticky CPS, CPM) a MVI a MDI jsou prahové a limitní hodnoty v počtu impulsů za interval měření (CPS, CPM). Často lze rovnici (2) vidět v následující podobě (na základě určitých Currieho úvah):

$$MDI = 3 + 4.65 \times s_B \quad (\text{impulzů}) \quad (3)$$

Na detekční limit MVI a MDI (resp. níže MVA a MDA) má pochopitelně vliv výše radiačního pozadí. Ta se běžně pohybuje pro CzechRad v rozmezí 30-60 CPM (odpovídá běžnému radiačnímu pozadí cca 0,05-0,1 $\mu\text{Gy/h}$). Obvyklému radiačnímu pozadí detekovanému CzechRadem v rozmezí 30-60 CPM, odpovídají $s_B = 5,5$ (resp 7,5) .. pro 1 minutové měření. Tomu odpovídá $MVI = 13$, (resp 17) a $MDI = 28$ (resp 38) .

Aby byl práh a limit detekce vyjádřen v měrné aktivitě Cs-137, musí být do rovnice zahrnut kalibrační faktor CF (jde o převrácenou hodnotu K) a to pro různé geometrie měření (např. vzdálenost detektoru od krku) a použitého přístroje (CF vyjádřeno např. v kBq/kg//CPM) (viz tabulka XXXX):

$$MVA = CF \times 2.33 \times s_B \quad (\text{kBq/kg}) \quad (4)$$

$$MDA = CF \times (2.71 + 4.65 \times s_B) \quad (\text{kBq/kg}) \quad (5)$$

Kde CF je normalizován na stejný časový interval (CPM) jako stanovená směrodatná odchylka s_B .

Často je konstanta "2.71" oproti druhé části výrazu v závorce zanedbávána a výsledek je

$$MDA = CF \times 4.65 \times s_B \quad (6)$$

Z uvedené teorie lze pro uvedené alternativy radiačního pozadí a kalibrační faktory odvodit minimální významná aktivita (MVA) a minimální detekovatelná aktivita MDA .

V následujících tabulkách jsou vypočteny MVA i MDA pro jednodeminutová, třímínutová a desetiminutová měření a je vidět jak se s prodlužující dobou měření snižují.

Tabulka 5: Kalibrační faktory a minimální významné aktivity (MVA) a minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro různé geometrie a dvě alternativy radiačního pozadí a dobu měření 1 min

Geometrie měření	CF [kBq/kg)/ CPM]	Při pozadí CPM 30 (<0,1μSv/h)		Při pozadí CPM 60 (cca 0,1μSv/h)	
		MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)	MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 1 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,073	0,9	1,9	1,3	2,5
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,091	1,2	2,3	1,6	3,2
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 1 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,056	0,7	1,4	1,0	2,0
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,067	0,9	1,7	1,2	2,3
Jedna přepravka 28 dm3 měřena v kontaktu ve středu (shora)	0,11	1,4	2,8	1,9	3,8
Válcová nádoba 1 litr	0,36	4,6	9,2	6,3	12,6

Tabulka 6 : kalibrační faktory a minimální významné aktivity (MVA) a minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro různé geometrie a dvě alternativy radiačního pozadí a dobu měření 3 min

Geometrie měření	CF [kBq/kg)/ CPM]	Při pozadí CPM 30 (<0,1μSv/h)		Při pozadí CPM 60 (cca 0,1μSv/h)	
		MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)	MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 1 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,073	0,5	1,0	0,7	1,4
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,091	0,6	1,2	0,9	1,7
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 1 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,056	0,4	0,7	0,5	1,1
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm3) - měřeno 1 m od stěny	0,067	0,4	0,9	0,6	1,3
Jedna přepravka 28 dm3 měřena v kontaktu ve středu (shora)	0,11	0,7	1,5	1,0	2,1
Válcová nádoba 1 litr	0,36	2,4	4,8	3,4	6,8

Tabulka 7 : kalibrační faktory a minimální významné aktivity (MVA) a minimální detekovatelné aktivity (MDA) pro různé geometrie a dvě alternativy radiačního pozadí a **dobu měření 10 min**

Geometrie měření	CF [kBq/kg)/ CPM]	Při pozadí CPM 30 (<0,1μSv/h)		Při pozadí CPM 60 (cca 0,1μSv/h)	
		MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)	MVA (kBq/kg)	MDA (kBq/kg)
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 1 (g/cm ³) - měřeno 1 m od stěny	0,073	0,3	0,6	0,4	0,8
Stěna z 7 × 7 přepravek v jedné vrstvě (420 × 140 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm ³) - měřeno 1 m od stěny	0,091	0,4	0,7	0,5	1,0
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 1 (g/cm ³) - měřeno 1 m od stěny	0,056	0,2	0,4	0,3	0,6
Stěna z 9 × 9 přepravek v jedné vrstvě (540 × 180 × 40cm) hustota 0,5 (g/cm ³) - měřeno 1 m od stěny	0,067	0,3	0,5	0,4	0,7
Jedna přepravka 28 dm ³ měřena v kontaktu ve středu (shora)	0,11	0,4	0,9	0,6	1,2
Válcová nádoba 1 litr	0,36	1,4	2,8	2,0	4,0

Rozbor vhodné geometrie měření z hlediska citlivosti a doby měření:

S uvážením získaných výsledků hledáme optimální dobu měření při uvážení, že referenční hodnota v potravinách Cs-137 (s výjimkou mléčných výrobků) je 1 kBq/kg. Z tabulky je zřejmé, že detekční limit (MVA) při 1 minutovém měření není pro žádnou geometrii měření dostatečný pro screeningové posouzení závažnosti kontaminace potravin/plodin na úrovni 1 kBq/kg (snad jen pro sady přepravek a na nízkém radiačním pozadí).

Ale již 3 minutové měření tento požadavek splňuje, s výjimkou malého 1 litrového vzorku (pro něj je ovšem nedostatečné ani 10 min měření). Měření po dobu 3 min považujeme za rozumný kompromis, neboť je dostatečně citlivé pro většinu geometrií a umožní za hodinu změřit něco mezi 10-20 vzorky. Za nejpraktičtější lze patrně považovat geometrii 1 přepravka.

9. Vlastní výpočet aktivity CS -137 v potravinách

Výpočet aktivity je jednoduchý a provede se podle vzorce :

$$A = CF \times (CPM - CPMB)$$

kde je :

A... aktivita Cs 137(v kBq)

CF.. kalibrační faktor (kBq/ CPM)

CPM průměrný počet impulsů při měření potravin za minutu (vypočtený z odpovídajícího delšího měření)

CPMB..... průměrný počet impulsů při měření pozadí za minutu (vypočtený z odpovídajícího delšího měření)

Postup měření a software

- 1) Tlačítkem (FN2) spustíte měření radiačního pozadí (bude trvat 3 min) – držte přístroj dále od vzorků potravin ideálně 5-10 metrů (na displeji se objeví „měření radiačního pozadí pro potraviny“)
- 2) Ujistěte se, že je výsledek v pořádku (na displeji OK), tj. radiační pozadí není příliš zvýšené (na displeji se objeví „radiační pozadí je OK“) (tj méně než 60 CPM)
- 3) Tlačítkem (FN2) opět spustíte měření potravin (bude trvat 3 min), (na displeji se objeví „probíhá měření potravin “ ,)
- 4) Ihned po spuštění přiložte k vzorku (viz obrázek) aby vyznačený střed detektoru byl v požadovaném místě ,
- 5) sledujte na hodinkách čas 3 min, (měření se po 3 minutě zastaví samo, po skončení se objeví „ Ukončeno, výsledek .. viz níže))

Na displeji se poté objeví jedna ze dvou zpráv:

- ☐ Nebyla detekována významná aktivita CS-137 nad směrnou hodnotu (tj nad 1 kBq/kg)
- ☐ Naměřená hodnota je nnn kBq/kg

10 . Literatura

- [Brown 2016] Brown, A., et al.: Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. J. Radiol. Prot. 36 (2016) S82–S101.
- [Currie 1968] Currie, L.A.: Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry. Anal. Chem., 40 (3), 1968, s. 586–593.
- [IAEA 2013] EPR-NPP Public Protective Actions 2013: Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor. International Atomic Energy Agency, Vienna 2013
- [IAEA 2014] IAEA: International Experts' Meeting on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding. Vienna, Austria, 17 – 21 FEB 2014. Presentations available at: <http://www-pub.iaea.org/iaeameetings/46522/International-Experts-Meeting-on-Radiation-Protection-after-the-Fukushima-Daiichi-Accident-Promoting-Confidence-and-Understanding>". Date last access 23-FEB-2017.
- [IAEA 2015] IAEA: General Safety Requirements. No. GSR Part 7. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
- [IAEA 2017] IAEA EPR-NPP-OILs 2017: Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies. International Atomic Energy Agency, Vienna 2017
- [ICRP 2007] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- [ISO 4730-3] ISO 4037-3:1999. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence
- [TMT Handbook] TMT Handbook: Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act. (Carlo-Rojas Palma *et al* eds.) NRPA, 2009.
- [SURO 1] B-VDI130_HOD_RO-HP_0.00 Příloha č. 1: Měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu. Zpráva SURO
- [SURO 2] B-VDI130_HOD_RO-HP_0.00 Příloha č. 3: Odběr vzorků životního prostředí mobilními skupinami. Zpráva SURO

Příloha : Návrh jak interpretovat výsledky „občanských samo-měření“ :

Interpretace výsledků měření :	Poznámky (odůvodnění):
Pokud je měření provedeno po minimálně 1 měsíci od radiační havárie (tj z hlediska dávkového příkonu již dominuje Cs-137 s podílem Cs-134)	
Varianta A. Naměřená hodnota měrné aktivity Cs137 je nižší než detekční mez tj. MVA (tj. < 1 kBq) je velká pravděpodobnost, že potraviny nepřekračují směrné hodnoty. Toto měření je však indikativní a nenahrazuje ověření pro trh. (a platí pokud měření bylo na běžném radiačním pozadí tj. do cca 60CPM). Pokud bylo výsledek měření pozadí vyšší než 60 CPM, přístroj sám upozorní na vyšší hodnotu pozadí a doporučí zopakovat měření jinde.	Pro nepřiliš zvýšené pozadí výsledek představuje indikátor, že by plodiny mohly splňovat kritéria pro Cs137 Pro případ, že je na místě významně zvýšené radiační pozadí, je doporučeno opakovat/provést měření na méně kontaminovaném místě.
Varianta B. Naměřená hodnota měrné aktivity Cs-137 je vyšší než MVA (tj. 1 kBq) Je pravděpodobné, že potravina ve vzorku nesplňuje směrné/doporučené hodnoty ve vyhlášce (tj. 1 kBq) .	Uvažujeme, že doporučení pro další postup rozdělíme podle výsledku měření z hlediska likvidace : • 1-10 kBq/kg – likvidace běžným způsobem. • Více než 10 kBq. Doporučujeme ověřit a postupovat při likvidaci dle doporučení o odpadech,

Poznámka : ovlivnění výsledku stanovení Cs-137 při přítomnosti Cs-134

Měření CzechRadem je nespektrometrické (měřeno přes CPM resp. dávkový příkon) a nedokáže rozlišit Cs-137 a Cs -134 (poločas 2 roky) a pochopitelně ani další radionuklidy.

Zkušenosti z kontaminace po Černobyli ukázaly na podíly Cs-137 a Cs-134 hned po havárii cca 2:1, u Fukušimy cca 1:1 ,u jiných nehod může být odlišná. Tento poměr se v čase postupně zvyšuje ve prospěch Cs -137 v důsledku rychlejšího rozpadu Cs-134. Současně Cs-134 má konverzní koeficient K (dávkový příkon při stejné aktivitě) 2,6x vyšší než Cs-137 a na odezvě přístroje v CPM se Cs-134 projeví výrazněji. Výsledek je tedy při přítomnosti Cs-134 falešně pozitivní nadhodnocení měrné aktivity Cs-137, např. u černobylské nehody cca 2,3 x, u havárie ve Fukušimě 3,6x.

Na druhou stranu jsou směrné hodnoty pro potraviny u Cs137 a Cs134 stejné, a pokud interpretujeme výsledek měření ne pouze jako měrnou aktivitu Cs137 ale jako „**ekvivalentní směs Cs137 a Cs134**“ (to byl přístup používaný po černobylské havárii) je výsledek měření v případě černobylské směsi v podstatně správný (nadhodnocuje o cca 15 procent), v případě „fukušimské směsi“ by byl nadhodnocen cca o 80 procent. Pro konkrétní havárii a směs se dá tento výsledek aposteriori upřesnit. V každém případě je výsledek měření mírně nadhodnocen, jsme tedy při měření tedy „na straně bezpečnosti“.